



# **Engenharia Moderna:** Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3

Fábio Andrijauskas  
Annete Silva Faesarella  
Laira Lucia Damasceno de Oliveira  
(Organizadores)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022



# **Engenharia Moderna:** Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3

Fábio Andrijauskas  
Annete Silva Faesarella  
Laira Lucia Damasceno de Oliveira  
(Organizadores)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



# Engenharia moderna: soluções para problemas da sociedade e da indústria 3

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaiddy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Fábio Andrijauskas  
Annete Silva Faesarella  
Laira Lucia Damasceno de Oliveira

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia moderna: soluções para problemas da sociedade e da indústria 3 / Organizadores Fábio Andrijauskas, Annete Silva Faesarella, Laira Lucia Damasceno de Oliveira. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0095-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.950221105>

1. Engenharia. 2. Sociedade. 3. Indústria. I. Fábio Andrijauskas (Organizador). II. Annete Silva Faesarella (Organizadora). III. Laira Lucia Damasceno de Oliveira (Organizadora). IV. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

Nos anos de 2020 e 2021 tivemos a primeira e a segunda edição do livro “Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria” e agora, em 2022, com muito orgulho lançamos sua terceira edição. Esta edição atual provém de trabalhos desenvolvidos durante a pandemia da COVID-19, um período que nos fez refletir sobre a importância da ciência e o desenvolvimento tecnológico no mundo atual, aliados na descoberta de soluções para problemas de diferentes âmbitos, haja vista as vacinas desenvolvidas no intuito de resolver esta situação tão sensível e desafiadora. Realmente, um momento que mudou a vida de todos e que ficará para sempre em nossas lembranças.

Em tempos que, mais do que nunca, necessitam de união e paz, apresentamos este conteúdo com diversos autores, demonstrando que a diversidade de pensamento, ideias e conhecimento são pilares para o avanço da ciência. Cada capítulo foi elaborado com dedicação e comprometimento dos pesquisadores, e traz mais um resultado de sucesso para diversas áreas do conhecimento, como as Engenharias, a Saúde e o Meio Ambiente.

Mais uma vez, agradecemos à Editora Atena pela oportunidade do lançamento do nosso terceiro livro, proporcionando uma via eficaz de disseminação de conhecimento e de suas contribuições para a sociedade e para a comunidade científica.

Finalizamos com uma frase da oração de São Francisco que diz: **“Senhor, fazei de mim instrumento de vossa paz”**.

**Paz e bem!**

Annete Silva Faesarella

Fábio Andrijauskas

Laira Lucia Damasceno de Oliveira

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

A MODERN PANORAMA OF THE INTERNET OF MEDICAL THINGS DEMONSTRATING ITS APPLICATION LANDSCAPE

Reinaldo Padilha França  
Ana Carolina Borges Monteiro  
Rangel Arthur  
Francisco Fambrini  
Julio Cesar Pereira  
Vicente Idalberto Becerra Sablón  
Yuzo Iano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211051>

### **CAPÍTULO 2..... 20**

PRODUÇÃO E APLICAÇÕES DO PÓ DA CASCA DE ROMÃ EM COSMÉTICOS

Teresa de Jesus Estevam Pereira  
Vanessa Cristine de Marco Matos dos Santos  
Iara Lúcia Tescarollo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211052>

### **CAPÍTULO 3..... 36**

IMAGENS DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL EM ESTADO DE REPOUSO APLICADAS A ESTUDO DA DOR CRÔNICA UTILIZANDO DEEP LEARNING

Sérgio Ricardo de Lima Novais  
Glaucilene Ferreira Catroli  
Fábio Andrijauskas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211053>

### **CAPÍTULO 4..... 50**

BALSANET - PLATAFORMA COMPUTACIONAL MULTIPARÂMETROS CONTROLADA REMOTAMENTE PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUAS SUPERFICIAIS

Kelvyn Souza Santana  
Anderson Quintino da Fonseca  
Vicente Idalberto Becerra Sablón  
Annete Silva Faesarella

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211054>

### **CAPÍTULO 5..... 67**

NOVO MÉTODO DE SUPRIMENTO DE ELETROPOSTOS A PARTIR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Fernando Luciano de Almeida  
Julio Cesar Galves Gomes Mangini Mosqueiro Junior  
Annete Silva Faesarella

Vicente Idalberto Becerra Sablón

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211055>

**CAPÍTULO 6..... 81**

**ESTUDO DA RECUPERAÇÃO DE SOLVENTES NA PRODUÇÃO DE ADESIVOS**

Leonardo Dorigo de Almeida  
Samyra Haryele Gimenes Silva  
Monica Tais Siqueira D'Amelio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211056>

**CAPÍTULO 7..... 97**

**DESENVOLVIMENTO, ANÁLISE E ESTUDO DA CASCA DE CAFÉ PARA REMOÇÃO DE CORANTES DE EFLUENTES INDUSTRIAIS**

Enik Erica Rodrigues Godoy  
Gabriela de Oliveira Ferri  
Monica Tais Siqueira D'Amelio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211057>

**CAPÍTULO 8..... 109**

**APLICAÇÃO DE CARVÃO ALTERNATIVO EM TRATAMENTO DE ÁGUA INDUSTRIAL**

Bruna Ferraz Mattos de Souza  
David Aguiar Ferreira Junior  
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211058>

**CAPÍTULO 9..... 123**

**ESTUDO DA TRANSFORMAÇÃO DO LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM PRODUTO COMERCIAL AGRÍCOLA**

Jaqueline Paz de Oliveira  
Mislaini de Sá Viana  
André Augusto Gutierrez Fernandes Beati  
Renata Lima Moretto  
Laira Lúcia Damasceno de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9502211059>

**CAPÍTULO 10..... 145**

**AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL COM FOCO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Augusto da Silva Santos  
Brurenan Rocha Silva  
Geraldo Peres Caixeta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110510>

**CAPÍTULO 11..... 163**

**ANÁLISE DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO E EFEITOS DE BLINDAGEM**

Rafaela Steffany da Silva Kayo  
William Aparecido de Oliveira  
Geraldo Peres Caixeta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110511>

**CAPÍTULO 12..... 183**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE RECUPERAÇÃO DE METAIS EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO**

Cláudia Fernanda Spagnol Cocenza  
Yasmin Abrahão Pacheco Boiago  
Renato Franco de Camargo  
Roberta Martins da Costa Bianchi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110512>

**CAPÍTULO 13..... 202**

**LEVANTAMENTO DA CAUSA REFERENTE AOS DANOS E PATOLOGIAS ENCONTRADOS NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA EM UMA VIA DE FLUXO MUITO PESADO**

Caroline Fernanda Ferreira  
Lillian Maria Destro  
Marcelo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110513>

**CAPÍTULO 14..... 220**

**ANÁLISE DE GESTÃO DE OBRA E IMPACTO DE CIRCUNVIZINHANÇA**

Ana Carolina Marques Monteiro  
Letícia Toniato Andrade  
Laira Lúcia Damasceno de Oliveira  
Renata Lima Moretto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110514>

**CAPÍTULO 15..... 234**

**O DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES DE ENSINO FRENTE ÀS ESTRATÉGIAS ARQUITETÔNICAS, ENERGÉTICAS E OS IMPACTOS CLIMÁTICOS ATUAIS**

Jane Tassinari Fantinelli  
Mariana Cene da Silva  
Caroline Oliveira Tartari

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110515>

**CAPÍTULO 16..... 248**

**DESENVOLVIMENTO DE UM GERADOR DE OZÔNIO DE BAIXO CUSTO PARA**

## TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA COM CORANTES

Leticia Pereira Brito D'Oliveira  
Marcos Vinicius Pernambuco Zeferino  
Roberta Martins da Costa Bianchi  
Renato Franco de Camargo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110516>

### **CAPÍTULO 17.....268**

#### DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LACTOSE POR MEIO DE GLICOSÍMETRO

Danka Ayres Carvalho da Silva  
Gabriel Luís Ehrenberg Malavazzi  
Filipe Alves Coelho  
Roberta Martins da Costa Bianchi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110517>

### **CAPÍTULO 18.....280**

#### ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE IMPRESSÃO 3D NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PEÇAS TÉCNICAS IMPRESSAS

Paulo Cesar Polli  
Daniel Loureiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110518>

### **CAPÍTULO 19.....299**

#### DESENVOLVIMENTO DE MODELOS DENTÁRIOS ATRAVÉS DA MANUFATURA ADITIVA

Guilherme de Faria Mendes  
Vinicius Fernandes Moreira Alves  
Daniel Loureiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.95022110519>

### **SOBRE OS ORGANIZADORES .....320**

## ESTUDO DA TRANSFORMAÇÃO DO LODO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM PRODUTO COMERCIAL AGRÍCOLA

### **Jaqueline Paz de Oliveira**

Universidade São Francisco  
Campinas- São Paulo  
<https://orcid.org/0000-0003-3637-4445>

### **Mislaini de Sá Viana**

Universidade São Francisco  
Campinas-São Paulo  
<https://orcid.org/0000-0002-0281-1216>

### **André Augusto Gutierrez Fernandes Beati**

Universidade São Francisco  
Campinas-São Paulo  
<https://orcid.org/0000-0001-7578-9972>

### **Renata Lima Moretto**

Universidade São Francisco  
Campinas-São Paulo  
<https://orcid.org/0000-0001-7431-1651>

### **Laira Lúcia Damasceno de Oliveira**

Universidade São Francisco  
Campinas- São Paulo  
<https://orcid.org/0000-0001-6804-0082>

**RESUMO:** A utilização do subproduto (biossólido) em áreas como na agricultura, surge como alternativa sustentável considerando a qualidade do solo e água. Os tratamentos geram subprodutos que vêm se apresentando muito promissores no mercado, principalmente se visto de maneira sustentável, pois é um composto com valor agregado, aumenta a produtividade de cultivos agrícolas e gera uma nova atividade econômica, bem como social, um clássico exemplo de economia circular. Neste contexto, o estudo demonstrou a prática, através da técnica

de compostagem do lodo de ETE (Estação de Tratamento de Efluentes), analisando a possibilidade de atender de forma segura as legislações vigentes do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), no qual certifica o uso seguro do produto na agricultura. Para tal foram executados processos como a adição de pó de serra sobrepondo em camadas alternadas com o lodo de ETE (pequena escala de revolvimento manual). Propondo uma análise comparativa de um sistema de grande proporção, foi realizada uma visita técnica à empresa TERA Ambiental Ltda, localizada na cidade de Jundiá-SP, onde foram analisados a suas etapas, desde a chegada do resíduo à sua comercialização. Foram também realizadas algumas análises com a prática de vermicompostagem para possível aceleração (pequena escala), utilizando minhocas em seu processo. Parâmetros físico-químicos como: pH, temperatura, nitrogênio e outros foram comparados entre as práticas e a legislação vigente. A partir dos dados obtidos com as práticas apresentadas, foi possível verificar o grande potencial para utilização desse subproduto, uma vez que este apresentou altos índices de nutrientes em seu composto, como exemplo a matéria orgânica estando acima de 60%, sendo considerado como ótimo na escala analisada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo. Tratamento. Resíduos. Agricultura.

# STUDY OF THE TRANSFORMATION OF THE SLUDGE GENERATED IN EFFLUENT TREATMENT STATION IN AGRICULTURAL COMMERCIAL PRODUCT

**ABSTRACT:** The use of this by-product (biosolid) in other areas such as agriculture, appears as a sustainable alternative considering the quality of soil and water. The treatments generate by-products that increase if it is very promising in the market, especially if seen in a sustainable way, as it is a compound with added value, increases the productivity of agricultural crops and generates a new economic as well as social activity, a classic example of economics circular. In this context, the study applies to practice, through the technique of composting the sludge from ETE (Effluent Treatment Station), analyzing the possibility of providing safe care according to the current legislation of MAPA (Ministry of Agriculture, Livestock and Supply) , which certifies the safe use of the product in agriculture. To this end, there were gains such as the addition of saw dust overlaying alternate layers with ETE sludge (small scale of manual turning). Proposing a comparative analysis of a large proportion system, a technical visit was made to the company TERA Ambiental Ltda, located in the city of Jundiaí-SP, where the steps were taken, from the arrival of the waste to its commercialization. Some analyzes were also carried out with the practice of vermicomposting for possible acceleration (small scale), using earthworms in its process. Physicochemical parameters such as: pH, temperature, nitrogen and others were compared between current practices and legislation. From the data obtained with the practices, it was possible to verify the great potential for the use of this by-product, since it presents high levels of nutrients in its compost, for example, organic matter above 60%, being considered as great in the analyzed scale .

**KEYWORDS:** Sludge. Treatment. Waste. Agriculture.

## 1 | INTRODUÇÃO

Segundo von Sperling (2005), a remoção dos poluentes no tratamento, deve se adequar ao lançamento a uma qualidade ou padrão vigente que se associa aos conceitos de nível do tratamento e sua eficiência. Para Metcalf e Eddy (2013), os processos de tratamento de efluentes podem variar entre países, sendo que no Brasil, são utilizados processos unitários físicos, químicos e biológicos. Os processos de tratamentos físicos consistem em métodos com forças físicas, que são: gradeamento, floculação, sedimentação, filtração entre outras. Já os processos de tratamentos químicos, são aqueles em que são submetidos a adição de produtos químicos, que conseqüentemente provocarão reações químicas para a remoção de contaminantes, tais como desinfecção, precipitação e adsorção. Já o processo de tratamento biológico utiliza métodos de remoção através de atividade biológica de algas, bactérias, protozoários, nematóides, vermes, insetos e larvas. Normalmente, os métodos realizados em sistemas de ETE's convencionais, aplicam cinco etapas estabelecidas: pré-tratamento (ou tratamento preliminar), tratamento primário, secundário, terciário e do lodo.

Sabe-se que grande parte do esgoto que é coletado no Brasil, apenas uma fração

é tratada, de acordo com os dados da Trata Brasil<sup>1</sup>, apenas 46% dos esgotos recebem tratamento. Portanto, a maior parcela dos esgotos é lançada sem qualquer tipo de tratamento, o que prejudica a qualidade deste corpo receptor, causando vários danos ambientais, tais como:

- Poluição do corpo hídrico que origina o desequilíbrio do ecossistema aquático prejudicando a sua biota, ocasionando a mortandade de peixes e outras espécies;
- Poluição visual ocorrendo mudança da estética do local;
- Alto risco de transmissão de doenças devido à exposição humana, como: cólera, leptospirose, giardíase, amebíase, ascaridíase ou lombriga, devido a essa atividade errônea, do não tratamento eficaz e adequado do efluente.

Assim como forma de conter e controlar a qualidade dos corpos hídricos, é necessário que antes do seu despejo, os mesmos sejam submetidos ao tratamento e estejam de acordo com os padrões impostos pela resolução CONAMA 430 de 2011, que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos d'água e assim haja a descarga do efluente de forma a respeitar a Classe do corpo hídrico, ou seja, preservando a qualidade do corpo receptor.

Segundo dados da Agência Nacional das Águas (ANA), em média a composição do esgoto sanitário é de 99,9% de água e 0,1% de sólidos, sendo que cerca de 75% desses sólidos são constituídos de matéria orgânica em processo de decomposição. Assim há a necessidade de se realizar o tratamento das águas residuárias e sua crescente no que diz respeito ao número de ETE's com a finalidade de tratar o efluente e atender as exigências de qualidade compatível ao previsto na Resolução (Nº 430/2011 CONAMA). As etapas para a realização de seu tratamento, gera um grande volume de lodo, também conhecido por biossólido, o que para Bittencourt et al. (2012) é considerado um desafio para as empresas de saneamento, pelo fato de ser um novo problema gerado, com isso, estudos vêm sendo realizados, para adoção de alternativas para melhor disposição desse resíduo. Algumas alternativas conhecidas de disposição final são: aterro sanitário, incineração, *landfarming*<sup>2</sup>, coprocessamento industrial, compostagem, dentre outras (TSUTIYA, 2002; PAREDES FILHO, 2011).

A destinação final mais comum a este biossólido segundo Bringhenti et al. (2013), são os aterros sanitários, porém estes possuem sérios problemas: odores desagradáveis, além do chorume, que é de difícil tratamento por conta da sua recalcitrância, bem como a necessidade de grandes extensões de terra para a sua construção, possível poluição do

1 Instituto Trata Brasil. Estudos, dados e estatísticas do setor. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>>. Acesso em: 28 Mar. 2019.

2 *Landfarming*: tecnologia de biorremediação que visa reduzir a concentração de contaminantes no solo por ação de microrganismos.

meio através de vazamentos de líquidos e gases, limite da quantidade de despejo de lixo, alteração visual da paisagem composta pelas montanhas artificiais originadas pelo acúmulo de suas camadas de resíduos que foram alocados no mesmo, além de causar elevados custos as ETE's geradora do lodo. Devido à sua composição, o lodo é considerado de alto poder poluidor, principalmente os industriais, que são classificados como resíduos perigosos. Porém, se devidamente tratado, é importante ressaltar a sua utilização em outras atividades, como na produção de tijolos ecológicos, concretos e combustíveis, na recuperação de áreas degradadas e até mesmo na geração de energia, tornando-se economicamente atrativo (BRINGHENTI et al., 2018).

Neste contexto, com abordagem na questão sustentável, o reaproveitamento do lodo surge como matéria prima para produção de fertilizante orgânico para uso agrícola. A prática de reaproveitamento não é considerada nova, porém surge como crescente no que diz respeito à necessidade de reutilização visada no meio. Chiba (2005), relata que a alternativa mais promissora para a utilização de Lodo de esgoto – LE seria na área da agricultura, uma vez que o mesmo traz benefícios ecológicos referentes à devolução ao solo de carbono orgânico e demais nutrientes que fora utilizado na produção de biomassa vegetal, bem como o social, pela sua possível produtividade de menor impacto de culturas sobre o meio ambiente, isso em relação às demais possibilidades de descarte desse resíduo.

Diante do exposto, a compostagem surge como uma técnica a ser utilizada para estabilização do lodo, onde o seu processo consiste na degradação aeróbia da matéria orgânica, ou seja, uma decomposição sob ação de microrganismos no qual se obtém o composto orgânico homogêneo de cor escura e sem cheiro, que pode ser aplicado em solos e plantações fornecendo melhorias nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas (TSUTIYA, 2002; SOUZA; KAWATOKO, 2009). Segundo Tsutiya (2002), para o andamento do processo, existe a necessidade de mistura de outros resíduos junto ao lodo, sendo que estes podem ser restos vegetais, bagaço de cana, palha, podas e galharias, que contribuem como fonte de carbono no processo.

As etapas da compostagem consistem em três fases, sendo elas: mesofílica, termofílica e de maturação. Para andamento das etapas da compostagem, existem algumas técnicas e maneiras, sendo as mais utilizadas: revolvimentos em leiras ou pilhas de revolvimento manual ou com auxílio de tratores, que normalmente são realizados em locais abertos; e por reatores biológicos, cujo sistema é fechado (SOUZA; KAWATOKO, 2009). Após passar pelas três etapas em uma das técnicas desejadas, obtém-se o adubo orgânico que como dito, pode ser aplicado nas culturas. Portanto, para a realização de um estudo de reaproveitamento de lodo de ETE, é imprescindível o conhecimento criterioso do material a ser estudado definindo os processos relevantes, bem como atender às legislações pertinentes do MAPA.

Desta forma, este estudo visou analisar a transformação de um resíduo, no caso lodo de ETE, em um produto fertilizante orgânico composto comercial, com foco principal na sustentabilidade, no sentido de reaproveitar o que geralmente seria pago para ser descartado em aterros sanitários, revertendo em um produto que beneficiará economicamente, bem como ao meio ambiente.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Práticas para análises do processo de compostagem em pequena escala

Para a realização do presente estudo por um período de oito semanas (ou 56 dias), foi executada uma prática nomeada Prática I de pequena escala, a fim de representar o processo de compostagem do lodo, utilizando-se a escala de 1:1 em um terreno no bairro

Jardim Amanda 1, localizado na cidade de Hortolândia - SP. De início o solo foi impermeabilizado com lona plástica e embalagem cartonada, para que não houvesse qualquer contaminação. Na leira construída havia 50 quilogramas de lodo e 50 quilogramas de resíduo pó de serra, sendo colocada em duas respectivas camadas, a primeira de lodo e a segunda do resíduo pó de serra, assim sucessivas vezes.

Para que houvesse a proteção contra precipitações pluviométricas, evitando-se a percolação excessiva da água, foi construída uma cobertura com lona plástica. A leira foi revolvida manualmente uma vez por semana, mais especificamente aos domingos no período da manhã e aferida a sua temperatura em cinco pontos respectivos, somados estes e dividido pelo total de suas aferições, obtendo-se assim a média de temperatura. Para as medições, foi utilizado o termômetro modelo KP – 8007 da Knup, a fim de manter estável com o cuidado devido para que este não entrasse em processo de anaerobiose.

Na busca por aceleração do processo, foi efetuada outra prática nomeada de Prática II, que consistiu no método de vermicompostagem, que segundo Landgraf et al. (2006) este processo trata-se da transformação da matéria orgânica recente em estabilizada, efetuadas através das minhocas associado ao seu trato digestivo. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento na sua Instrução Normativa SDA 25, de 23 de Julho de 2009, define o vermicomposto como os compostos que resultam da digestão da matéria orgânica que provém de resíduos como esterco, restos de vegetais e outros orgânicos pelas minhocas.

De acordo com os critérios do MAPA, o vermicomposto que em sua composição utiliza matéria prima de tratamento e despejos sanitários que resultará em produto utilizado na agricultura, recebe a classificação B conforme determina a IN 61/2020 que substituiu a 25/2009. A Prática II apresentou a combinação de lodo de ETE, resíduos pó de serra e minhocas californianas, da espécie *Eisenia fétida*. O processo foi realizado no mesmo terreno da Prática I, no bairro Jardim Amanda 1, localizado na cidade de Hortolândia -

SP, onde foram cometidos dois baldes plásticos de 30 litros cada. Estes foram perfurados na base e na borda superior, sendo que o balde que ficara em baixo teve sua tampa toda cortada sendo acoplado em cima de si outro balde com furos na base, permitindo a transferência das minhocas de um objeto a outro bem como intuito principal de manter ventilação no meio. Os baldes foram dispostos como descrito um sobre o outro, utilizando a escala de 1:1. Portanto foi efetuada a sua montagem intercalando os resíduos lodo de esgoto (LE) e resíduo pó de serra, contendo 10 quilogramas cada, totalizando assim 20 quilogramas de resíduo por balde.

As minhocas da espécie *Eisenia fétida* foram pesadas e colocadas em massas iguais e distribuídas nos dois baldes com 500 gramas cada. Durante os experimentos, padronizou-se revolvimento e medição de temperaturas semanais (uma vez ao dia) assim como o desenvolvido na Prática I, em cinco pontos da prática e assim calculado sua média de temperatura, onde foi somada as respectivas temperaturas e dividido seu valor total por cinco (número de aferições). A prática da vermicompostagem também foi revolvida, porém com um maior cuidado para que as minhocas não fossem prejudicadas negativamente durante esse manuseio, sendo assim a cada realização de revolvimento efetuado, adotou-se o exercício de transpor sob lona plástica esse composto e posteriormente ser revolvido com ferramentas de jardinagem. Para o acompanhamento das Práticas I e II, foram cumpridas as análises laboratoriais mensais, nos quais foram verificados os seguintes parâmetros: pH, Temperatura, Umidade; Relação Carbono/Nitrogênio (C/N); NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio); Carbono orgânico total (COT) e Matéria orgânica total. As análises foram realizadas nos laboratórios da Universidade São Francisco, Campus Swift, Campinas-SP, e no IBRA (Instituto Brasileiro de Análises) localizado na cidade de Sumaré-SP. Na Tabela 1, é possível observar informações sobre as análises realizadas na Universidade e no IBRA, e os seus respectivos métodos utilizados. Os dados obtidos foram comparados com o Manual Prático da Compostagem de Biossólidos, desenvolvido pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

PARÂMETRO	UNIDADE	MÉTODO	OBSERVAÇÃO
TEMPERATURA	°C		USF
UMIDADE	%	Perda por secagem	IBRA
pH	-		USF
NITROGÊNIO	%	Macrométodo da Liga de Raney	IBRA
FÓSFORO TOTAL	%	Gravimétrico de Quimociac	IBRA
POTÁSSIO TOTAL	%	Espectrométrico por Emissão	IBRA

RELAÇÃO CARBONO / NITROGÊNIO	%	Cálculo	IBRA
CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT)	%	Volumétrico do Dicromato de Potássio	IBRA
MATÉRIA ORGÂNICA TOTAL	%	Por calcinação	IBRA

Tabela 1. Parâmetros químicos de análise da Compostagem.

Fonte: Próprio autor.

## 2.2 Visita Técnica

A fim de apresentar o processo de transformação do lodo em fertilizante orgânico composto em macroescala, foi realizada uma visita técnica na empresa TERA Ambiental Ltda, localizada na cidade de Jundiaí-SP. Esta empresa é especializada na valorização de resíduos orgânicos urbanos e agroindustriais através de soluções ambientais como, tratamento de efluentes e compostagem termofílica. O intuito da visita foi descrever o funcionamento de forma minuciosa, desde a chegada do resíduo, até o seu produto final, vigente e de acordo com a legislação apta para comercialização.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Interesse pela compostagem do resíduo de esgoto

Segundo Bringhenti et al. (2018), o lodo de esgoto é caracterizado pela quantidade considerável em matéria orgânica e em macro e micronutrientes para cultivos agrícolas. Visando a questão de reaproveitamento, o processo para transformar esse lodo em um fertilizante, chama atenção para empresas que tratam efluentes. Com base nisso, a empresa estudada TERA Ambiental Ltda, surgiu no mercado com esse propósito, reciclar efluentes biológicos e nunca enviar o lodo proveniente do tratamento para aterro, e sim, destiná-lo adequadamente, aplicando em um novo processo, a fim de transformar em produto com valor agregado para a utilização em outros segmentos.

Em um primeiro momento, após uma demanda da Cia Saneamento de Jundiaí – CSJ, o lodo gerado passava pelo sistema de secagem e em seguida era doado para agricultores da região. Ao longo do tempo, o Engenheiro Agrônomo da empresa, desenvolveu um estudo, no qual resultou o processo de compostagem termofílica, utilizando lodo e outros tipos de resíduos que a empresa recebe para destinação, implantando de fato a planta de compostagem.

### 3.2 Processo de compostagem em grande escala realizado pela empresa em estudo

Conforme observado na visita técnica, para início do processo, o efluente líquido é

recebido via caminhão e descartado nos tanques conforme demonstra a Figura 1A, em um curto período de tempo, aproximadamente treze minutos entre chegada, descarte e saída, considerando essa etapa rápida e efetiva.

O efluente recebido é tratado por processo biológico aeróbio para remoção da carga orgânica, através de lagoas aeradas de mistura completa com difusores de membrana seguidas de lagoas de decantação, apresentadas na Figura 1B e C. Ao final do longo processo, o efluente que foi tratado retorna ao corpo receptor atendendo os padrões impostos pela resolução CONAMA 430 de 2011, e o lodo sanitário gerado, passa pelo processo de desaguamento em decaners centrífugos conforme ilustrado na Figura 1D, sendo a torta de lodo encaminhada para a compostagem. Com base nas informações fornecidas pela empresa, aproximadamente 80 toneladas de lodo desaguado são geradas ao dia, ou seja, 2.400 toneladas ao mês. Na Figura 2, é possível visualizar o processo de tratamento do efluente de forma simplificada.

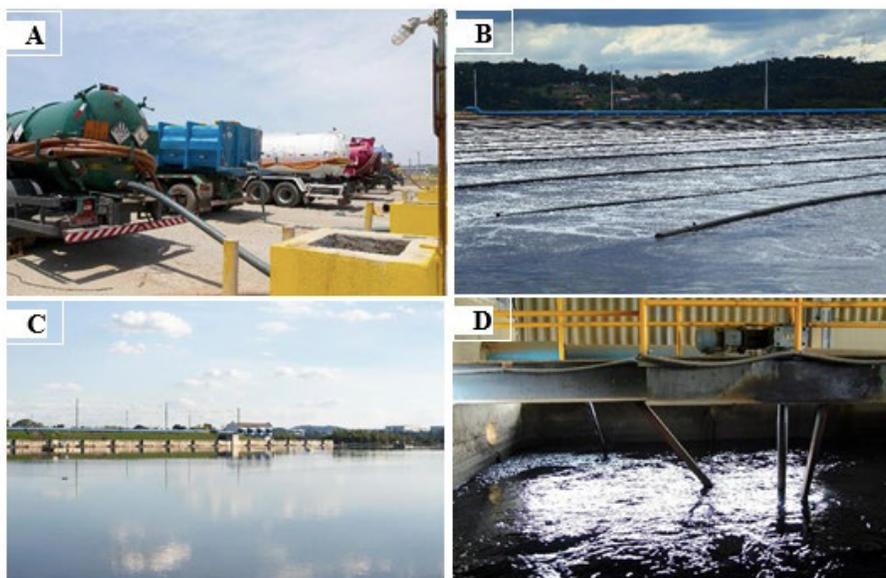


Figura 1. A) Efluente sendo recebido via caminhão e transferido para os tanques; B) Efluente já em tratamento na Lagoa de Aeração; C) Efluente em tratamento na Lagoa de Decantação; e D) Lodo gerado no tratamento do Efluente no processo de secagem

Fonte: TERA Ambiental Ltda.



Figura 2. Processo do tratamento de efluentes de forma simplificada.

Fonte: TERA Ambiental Ltda.

Na visita técnica, foi possível visualizar o processo de compostagem, que ocorre em ambiente protegido por três galpões metálicos, onde são montadas as leiras. Basicamente, as leiras são construídas na sequência de: lodo, cavaco de madeira não tratada, podas urbanas trituradas, insumos agrícolas diversos e café fora de especificação, porém, é importante ressaltar, que os resíduos podem variar, pois, a montagem é de acordo com a disponibilidade de resíduo que se encontra no momento. Com a ajuda de maquinário específico, o revolvimento é realizado para junção de todos os componentes, conforme mostra a Figura 3 – A, B, C e D. Logo, essas leiras são identificadas com placas, informando uma letra de identificação e data de início da compostagem. Ressalta-se que estas leiras são divididas nos três galpões disponíveis, e em cada um deles, são construídas leiras, com resíduos sólidos diversos.

O processo estabelecido pela empresa ocorre por um período de 60 dias, onde, serão revolvidas em dias alternados para atingir a temperatura necessária para ocasionar a morte dos patógenos, que de acordo com a empresa corresponde à temperaturas médias acima de 55°C. Outro fator que a empresa monitora é a umidade do composto, onde a sua proposta é reduzir este parâmetro a no máximo 40%.

O composto orgânico final deve atender os parâmetros instituídos nas normativas 61/2020 e 07/2016 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Após o período de 60 dias, são realizadas análises neste produto por um laboratório credenciado da empresa, a fim de se adequar para posterior comercialização. Após o processo de peneiramento, o composto é encaminhado para as análises a serem realizadas, e armazenamento para maturação. O produto final é considerado um fertilizante orgânico composto e denominado Terafertil, comercializado a granel para grandes agricultores.



Figura 3. A) Galpão de Compostagem; B) Leira de Compostagem em Revolvimento; C) Composto após Maturação passando pelo peneiramento; e D) Fertilizante pronto para Comercialização.

Fonte: TERA Ambiental Ltda.

### 3.3 Registro do produto no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

O produto final denominado fertilizante orgânico composto Classe B, é a substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, que fornece mais de um nutriente para as plantas. Os fertilizantes auxiliam na agricultura, porém para isto, é importante que tanto o produto como a empresa estejam em conformidade e devidamente registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Para a obtenção do registro da empresa perante o MAPA, este poderá ser registrado como Estabelecimento Comercial, aquele no qual comercializa produtos no mercado interno, e o Estabelecimento Produtor, responsável pela transformação de produtos primários, industrializados ou semi-industrializados em fertilizantes. Todas as informações exigidas pelo MAPA para o estabelecimento de seu registro estão descritas e são realizadas no próprio portal com auxílio de manuais demonstrando o passo a passo a ser seguido para o efetivo registro do estabelecimento, este deve ser renovado a cada cinco anos. Existem algumas classes de fertilizantes, que são extremamente necessárias o conhecimento, para que o registro do mesmo seja feito corretamente, são elas:

- Fertilizante orgânico: Produto basicamente de natureza orgânica;
- Fertilizante mineral: Produto basicamente de natureza mineral;

- Fertilizante organomineral: Produto que resulta da mistura entre os fertilizantes minerais e orgânicos.

Levando-se em consideração a atividade desempenhada pela empresa TERA Ambiental, o seu fertilizante é classificado como orgânico, uma vez que na sua composição são utilizados somente resíduos biológicos livres de contaminantes químicos. Os seus padrões de análises químicas respeitam a legislação vigente sendo realizados por laboratórios credenciados, tornando-se hoje a empresa referência na reutilização de resíduos, transformação e comercialização de fertilizantes do estado de São Paulo.

### **3.4 Viabilidade econômica e ambiental segundo a empresa em estudo**

Ao longo dos anos, o serviço se tornou viável nas duas frentes: compostagem e venda do fertilizante orgânico. Os investimentos são altos para manter o maquinário agrícola, a estrutura da planta e os colaboradores treinados. No intuito de sempre melhorar o processo, buscou-se investir em tecnologias melhores e com isso, após uma visita internacional, na Alemanha, uma melhoria na planta e nos maquinários foram adotados.

Quanto ao meio ambiente, a empresa em estudo, possui certificação de Qualidade Certificada pelo IBD (Associação de Certificação Instituto Biodinâmico). Isso garante que o produto não agrida o meio ambiente e é proveniente da reciclagem e transformação de resíduos que antes eram alocados em aterros e não tinham finalidade nenhuma. O orgânico produzido pela empresa TERA Ambiental, denominado Terafértil, possui certificação IBD, proveniente do processo de transformação de resíduos que antes eram dispostos em aterros e não reaproveitados. Ao final do processo apresenta valor mais acessível que o fertilizante químico, e conseqüentemente não agride o meio ambiente, tornando-se um produto que visa à sustentabilidade.

### **3.5 Prática I – Compostagem em pequena escala**

Segundo o Manual Prático, a aeração se torna fundamental ao longo do processo, mas principalmente na fase inicial e após os 30 dias, onde a atividade microbiana é excessiva. Diante disso, foi adotado o revolvimento manual semanal, no intuito de preservar a circulação de ar na massa do composto, tornando o processo eficiente, influenciando na degradação e evitando odores, onde ao apresentar esse fator de caráter negativo significa que o processo está se tornando anaeróbio.

A temperatura é um fator importante no processo de compostagem, segundo o Manual Prático, pois a sua elevação é necessária para que ocorra a eliminação de microrganismos patogênicos, além de refletir a eficiência do processo. Com base nisso, a temperatura variou de 21,82 a 31,24 °C durante a prática I ao longo das 8 semanas (Figura 4).

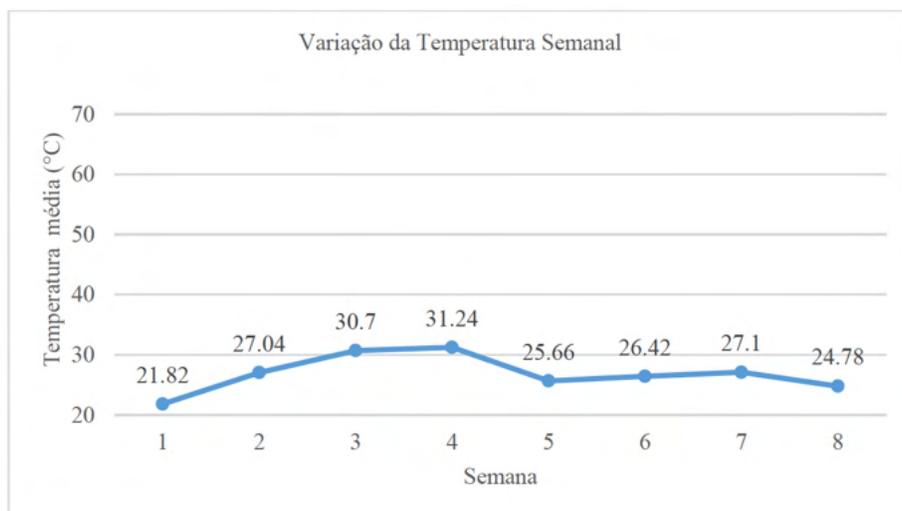


Figura 4. Evolução e variação da temperatura aferida na prática I em um período de oito semanas (ou 56 dias).

Fonte: Próprio autor.

Com base no manual, uma leira em compostagem deve registrar temperaturas diferentes em duas fases: termofílica e mesofílica, mas, vale ressaltar que muitas vezes, podem ocorrer processos de compostagem aeróbia em que o composto evolua somente atingindo uma das fases, sendo assim, não necessariamente o processo deve alcançar de fato as duas fases. De acordo com esse contexto, a Tabela 2, detalha a qualidade das temperaturas, ou seja, os respectivos valores mínimos, ótimos e máximos a serem atingidos.

Bactérias	Temperatura mínima	Temperatura ótima	Temperatura máxima
Mesófilas	15 a 25 °C	25 a 40 °C	43 °C
Termófilas	25 a 45 °C	50 a 55 °C	85 °C

Tabela 2. Tabela detalhada sobre as ações bacterianas no processo de compostagem e suas respectivas variações e qualidade de temperaturas.

Fonte: Institute for solid wastes of American Public Works Association, 1970.

Portanto, a temperatura média registrada na prática I (26,85°C) atende de forma geral como ótima, na fase em que ocorre atividade bacteriana mesofílica por estar no início do processo. Porém, é importante ressaltar que alguns fatores podem ter sido influenciados, como a falta de umidade, que de certa forma, segundo o Manual Prático, limita a efetividade microbiana e consequentemente a elevação da temperatura.

Outro parâmetro importante no processo de compostagem é a umidade. De acordo com Oliveira et al. (2008) e o Manual Prático, a umidade garante a evolução da atividade microbológica do processo, pois a água é fundamental para a vida microbiana, visto que ela indicará o desenvolvimento satisfatório do processo. Os elevados teores de umidade fazem com que os espaços vazios do meio sejam ocupados pela água e conseqüentemente impedindo a circulação do oxigênio, ocasionando o surgimento de anaerobiose, que pode ser identificado pelo odor negativo. Já para índices de umidade abaixo do esperado, este interfere na evolução do processo no caráter velocidade da biodegradação da matéria orgânica. Os resultados obtidos deste parâmetro nos meses de Agosto/Setembro e Outubro/Novembro de 2019 foram de 45,21% e 48,17%, respectivamente.

De acordo com Kiehl (2002) e o Manual Prático, a prática em estudo apresentou valores considerados inferiores ao que se considera como ótimo, que seria entre 50% e 60%, que indica uma maior velocidade de degradação. Porém, os resultados apresentados, não são de caráter negativo, visto que estão dentro dos valores mínimos descritos nestes estudos, que são 40% e os máximos maiores que 65%. Ainda segundo os estudos citados anteriormente, os valores abaixo do caracterizado como ótimo, significa que é necessário a adição de água e aeração, para o aumento do teor da umidade, ou seja, aumento da velocidade de degradação do composto, seguindo o monitoramento indicado para não ultrapassar o valor máximo descrito. De acordo com Kiehl (2002), as leiras de tamanho reduzido podem apresentar perda de umidade, sendo assim, indica-se que de fato isto ocorreu na prática em estudo.

Em relação aos níveis de acidez do composto, a análise de pH se torna essencial no processo, pois os níveis de pH muito baixos ou muito altos reduzem ou até inibem a atividade microbiana. Segundo Von Sperling (2001), em um primeiro momento o pH do processo pode variar entre 5,0-6,0, indicando a produção de ácidos orgânicos, e já em uma segunda fase, pode variar entre 7,0-9,0, indicando a evolução do processo. Além disso, o autor ressalta que o composto orgânico deve apresentar no mínimo pH 6,0. Os resultados obtidos deste parâmetro nos meses de Agosto/Setembro e Outubro/Novembro de 2019 foram de 6,0 e 7,95, respectivamente. Portanto, constata-se que as análises variaram de forma positiva na prática em estudo. Na primeira análise, o parâmetro atingiu o valor mínimo, que conforme o Manual Prático e Von Sperling (2001) são normais no início do processo, pois, é uma fase em que se desenvolve microrganismos que apresentam fermentação ácida, conseqüentemente, tornando o pH baixo. Na evolução do processo, o pH aumenta, pelo fato dos ácidos serem consumidos pelos agentes biológicos, atingindo valores entre 7,0 e 8,0, indicando a humificação do composto.

A fim de analisar a carga de nutrientes do composto, foram realizadas análises de NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), visto que a função destes são essenciais na melhoria da fertilidade do solo. Segundo o Manual Prático, a necessidade de determinar os

valores analíticos destes nutrientes, servem para que os agricultores e agrônomos definam um plano de adubação. Os resultados obtidos de nitrogênio (N) nos meses de Agosto/Setembro e Outubro/Novembro de 2019 foram de 2,1% e 1,82%, respectivamente. Já para o fósforo (P) e o potássio (K) de 2% e 2,24%, e 0,34% e 0,31%, respectivamente.

Segundo Silva et al. (2002), o nitrogênio do composto apresentou valores considerados bons, por estarem na faixa entre 1,8-3,5%, já o fósforo, apresentaram valores altos, de acordo com a classificação proposta na referência em questão e os índices de potássio foram considerados baixos de acordo com a classificação.

Outro parâmetro definido para análise, consiste na Relação Carbono/Nitrogênio, a fim de equilibrar os substratos, pois os microrganismos precisam de carbono como fonte de energia e o nitrogênio para síntese de proteína. Os resultados obtidos deste parâmetro nos meses de Agosto/Setembro e Outubro/Novembro de 2019 foram de 11% e 15%, respectivamente. Pôde-se verificar que a prática em estudo apresentou resultados inferiores ao esperado, que se encontra detalhado no Manual Prático, que estabelece como ótima, um substrato que apresente valores em torno de 30, porém, ressalta que podem variar de 20 a 70. A prática em estudo apresentou como valor máximo 15, indicando a provável perda de nitrogênio pela volatilização da amônia, ou seja, limitando a atividade microbiológica. Se a Relação Carbono/Nitrogênio apresentasse valores elevados, acima de 70, dificultaria os microrganismos a encontrarem nitrogênio para síntese de proteínas e consequentemente, limitando o desenvolvimento. De certa forma, os dois casos em baixos ou altos valores, interferem no andamento do processo, pois, o torna mais lento.

No decorrer do processo, o monitoramento da Matéria Orgânica foi essencial, por ser um indicador importante em relação ao nível de maturação do composto, pois, a partir desse parâmetro é possível observar a transformação da matéria orgânica em húmus, ou seja, o quanto de decomposição ocorreu e o quão próximo o composto está de transforma-se em húmus (KIEHL, 2002). Os resultados obtidos de matéria orgânica nos meses de Agosto/Setembro e Outubro/Novembro de 2019 foram de 74,9 % e 83,17%, respectivamente. Foi observado um aumento dos valores ao longo do tempo, ou seja, atendendo de forma positiva. Segundo a classificação proposta por Silva et al. (2002), que indica como ótimo (maior que 60%), bom (50-60%) e baixo (menor que 50%), a prática em estudo apresentou matéria orgânica de caráter ótimo.

Em relação ao Carbono Orgânico, esse parâmetro indica o andamento da decomposição e estabilização da matéria orgânica promovida pela ação dos microrganismos atuantes no processo de compostagem (OLIVEIRA et al., 2008). Verificou-se que o teor de carbono orgânico variou de 24,09% para 28,09% nos meses estudados, ou seja, houve um aumento no decorrer da degradação. Vale ressaltar, que segundo a literatura, se os valores apresentassem diminuição, não indicaria algo prejudicial, visto que outros parâmetros são mais essenciais que este.

### 3.6 Conformidade com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA

Os compostos orgânicos podem ser utilizados em qualquer tipo de cultura associado ou não a fertilizantes químicos. Segundo Souza e Kawatoko (2009), podem ainda ser utilizados para corrigir a acidez do solo, na recuperação de áreas degradadas e em projetos de reflorestamento de encostas. No Brasil, para os compostos orgânicos serem comercializados, devem atender a valores estabelecidos pelo MAPA, instituído pela Instrução Normativa número 25 de 23/07/2009, que podem ser observados na Tabela 3. Nesse intuito, o estudo buscou comparar os valores obtidos na prática com os impostos pela legislação, sendo que os resultados podem ser observados na Tabela 4.

Garantia	Misto/composto	Húmus de minhoca (vermicomposto)
Umidade (máx.)	50	50
N total (mín.)	0,5	0,5
*Carbono orgânico (mín.)	15	10
*CTC (1)	Conforme declarado	
pH (mín.)	6,0	6,0
Relação C/N (máx.)	20	14 (IN 25/2009)
Relação CTC/C (1)	Conforme declarado	
Outros nutrientes	Conforme declarado	

Tabela 3. Valores estabelecidos para comercialização de fertilizante orgânico.

Fonte: Adaptado de Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020 e Instrução Normativa SDA no 25, de 23 de julho de 2009.

Parâmetro	Valor MAPA	Resultado Prática I (%)
Carbono Orgânico	Mínimo 15%	28,9
Nitrogênio Total	Mínimo 0,5%	1,82
Umidade	Máximo 50/70%	48,17
Relação C/N	Máximo 20	15
Índice de pH	Mínimo de 6,0/6,5	7,95

Tabela 4. Relação valores estabelecidos pelo MAPA e os resultados da Prática I.

Fonte: Próprio autor

De modo geral, a prática em estudo apresentou evolução significativa em relação à legislação vigente, pois os resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4 estão de acordo com os padrões mínimos e máximos exigidos pelo MAPA e instituídos pela Instrução Normativa

número 25, indicado que o composto originado se enquadra como classe D, por apresentar matéria-prima de despejos sanitários. Contudo, vale ressaltar, que mesmo apresentando conformidade com estes padrões estabelecidos, análises de metais e patógenos devem ser realizadas, a fim de concretizar que os índices estão de acordo, sem respectivos riscos ao solo, plantações e até mesmo risco à saúde humana. Na Figura 5 – A, B, C, D, E, F, G e H é possível visualizar a evolução da leira em processo de compostagem. Neste contexto, foi possível observar a evolução da leira no decorrer das oito semanas do experimento, no qual evoluiu positivamente, sem a presença de cheiro e com cor escura, demonstrando que a estabilização do lodo estava ocorrendo.

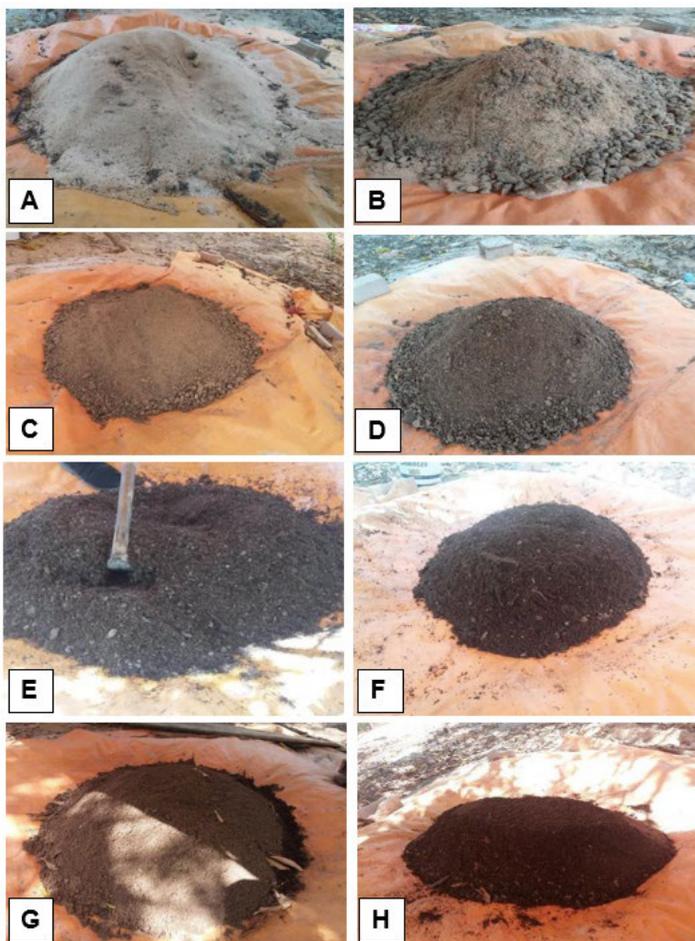


Figura 5. A e B) Fotos do antes e depois do revolvimento manual durante a semana 1. C e D) Fotos do antes e depois do revolvimento manual durante a semana 4. E e F) Fotos do antes e depois do revolvimento manual durante a semana 6. G e H) Fotos do antes e depois do revolvimento manual durante a semana 8

Fonte: Próprio autor

### 3.7 Prática II - Processo de Vermicompostagem

Na primeira semana da prática houve algumas mortes da espécie inserida, acredita-se que os resíduos utilizados estavam em estado muito pastoso não permitindo a movimentação das mesmas no ambiente, porém nas semanas seguintes com os revolvidamentos efetuados, foi possível verificar o aumento no número de novas minhocas na composteira, sendo sua maioria indivíduos jovens. Os valores obtidos de pH após um período de aproximadamente 56 dias do início do estudo da metodologia da vermicompostagem (agosto/setembro e outubro/novembro de 2019) foram de 6,55 e 7,12, respectivamente. É importante ressaltar que a prática da vermicompostagem foi realizada como uma experiência para verificação da possibilidade de acelerar o processo da compostagem e estabilização do lodo, portanto, o foco deste estudo foi a análise da compostagem do lodo a fim de viabilizá-lo para uso agrícola.

Diante do exposto, a experiência do lodo com as minhocas e suas respectivas práticas laboratoriais foram efetuadas somente ao final de sua prática, uma vez que esta metodologia é comum a ser realizada em macroescala de compostagem, porém algumas verificações como as de temperatura e pH foram analisadas mais de uma vez. De acordo com os padrões estabelecidos pelo MAPA, as análises de pH corresponderam positivamente atendendo as exigências do órgão vigente, no qual determina o mínimo de um valor de pH 6,0. Com isso, foi possível observar a evolução do composto que atende os parâmetros da legislação.

Em relação à evolução das análises de temperatura, esta variou de 21,78 a 28,1 °C durante a prática II ao longo das 8 semanas (Figura 6).

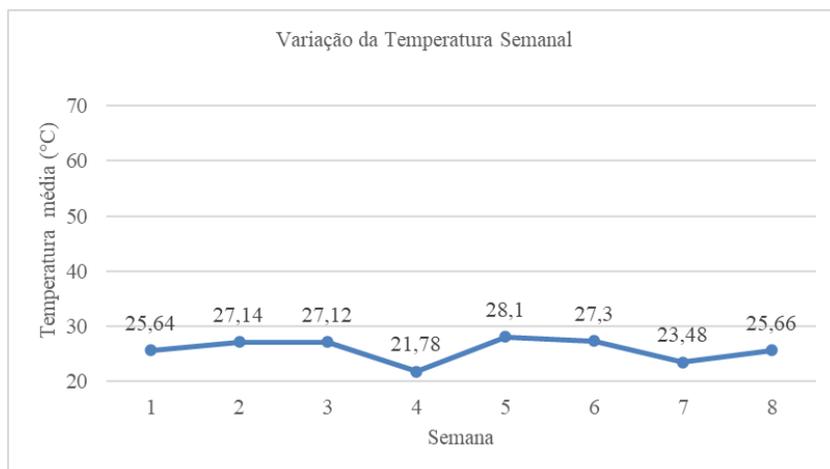


Figura 6 – Evolução e variação da temperatura aferida na prática II em um período de oito semanas (ou 56 dias).

Fonte: Próprio autor.

Diferentemente do processo de compostagem no processo de vermicompostagem é imprescindível que as perdas de calor sejam mantidas a níveis constantes. Para sobreviverem, as minhocas necessitam de condições mesofílicas. Sendo assim, altos e baixos valores de temperaturas inviabilizam a sua sobrevivência e prejudicam a vermicompostagem. Segundo o Instituto Agronômico de Pernambuco (2015), a temperatura ideal é de 16 a 22 °C, para que esta não cause mortalidade das minhocas, mesmo que em curto período de tempo. Portanto, a faixa de temperatura considerada acima permite visualizar que o experimento apesar de algumas variações de temperatura correspondeu positivamente ao longo de sua prática, proporcionando a reprodução das minhocas em seus picos de temperaturas mais elevadas (de 27,14 a 28,1°C). Temperaturas entre 30°C e 35°C, atrasam a migração das minhocas para horizontes superiores, e temperaturas superiores a 40°C podem ser letais (LOURENÇO, 2014).

As Tabelas 5 e 6 a seguir, demonstram a comparação dos resultados analisados com o estudo em relação à Instrução Normativa número 61, de 8 de julho de 2020 bem como a Instrução Normativa número 25, de 23 de julho de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

<b>Garantia</b>	<b>Misto/composto</b>	<b>Húmus de minhoca (vermicomposto)</b>
Umidade (máx.)	50	50
N total (mín.)	0,5	0,5
*Carbono orgânico (mín.)	15	10
*CTC (1)	Conforme declarado	
pH (mín.)	6,0	6,0
Relação C/N (máx.)	20	14 (IN 25/2009)
*Relação CTC/C (1)	Conforme declarado	
Outros nutrientes	Conforme declarado	

Tabela 5. Tabela de especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos.

Fonte: Adaptado de Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020 e Instrução Normativa SDA no 25, de 23 de julho de 2009.

<b>Parâmetro</b>	<b>Resultado Prática II</b>
Carbono Orgânico Total	15,61
Nitrogênio Total	1,1
Fósforo Total	1,28
Potássio Total (sol. em água)	1,09
Umidade	57,89
Matéria Orgânica Total	44,31
Relação C/N	14

Tabela 6. Resultados das análises dos parâmetros de fertilizante de uso agrícola.

Fonte: Próprio autor.

Conforme as especificações apresentadas, a prática da vermicompostagem apresentou seus teores de nitrogênio, carbono orgânico, pH e relação carbono nitrogênio C/N, de acordo com o esperado e em conformidade técnica com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, porém o teor de umidade se apresentou acima do permitido pela normativa, no qual padroniza a umidade máxima a 50%, contudo o presente estudo chegou a um valor de umidade a 57,89%. Entretanto, teores de umidade na faixa de 40 a 70% são apontados na literatura como ideais para que o processo ocorra em condições ótimas (KIEHL, 2004). Entretanto, teores de umidade inferiores a 40% também devem ser evitados, uma vez que podem fazer com que a atividade biológica seja reduzida, retardando o desenvolvimento do processo (VALENTE et al., 2009). Quando a umidade estiver baixa, é necessário fazer a irrigação da leira, de preferência no momento do revolvimento para que a água seja distribuída por igual (MASSUKADO, 2008).

Portanto, esta experiência em relação aos parâmetros analisados e se corrigida os procedimentos que não se encontram de acordo com a normativa, pode se apresentar como uma alternativa viável para a prática de higienização e estabilização do lodo. Na Figura 7 – A, B e C, é possível visualizar a evolução do processo de vermicompostagem durante o período de estudo.

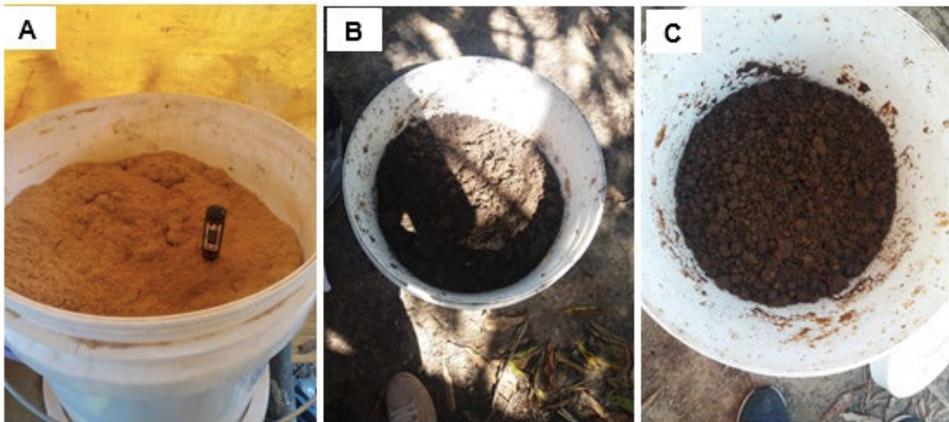


Figura 7. A) Processo de vermicompostagem após 1 semana; B) Processo de vermicompostagem após 5 semanas; C) Processo de vermicompostagem após 8 semanas.

Fonte: Próprio autor.

A partir das figuras apresentadas é possível observar a evolução do vermicomposto durante o período de estudo, no qual houve uma mudança em sua tonalidade, com uma redução de volume e humificação, onde o composto foi reduzindo seu tamanho granulométrico, característico de húmus produzidos por minhocas. Segundo Lourenço (2014), para ambos os processos de compostagem e vermicompostagem a granulometria interfere no desempenho do processo. Menores granulometrias aumentam a área superficial específica e a área de contato com as minhocas e com a comunidade microbiana, facilitando o “ataque”, acelerando assim a decomposição do material. Todavia, partículas muito pequenas facilitam a compactação, criando condições de anaerobiose.

#### 4 | CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o tratamento do lodo através da Prática I gerou um composto orgânico passível de ser utilizado como fertilizante em meio agrícola, uma vez que este atendeu aos padrões exigidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. A Prática II com algumas correções como a de umidade e matéria orgânica, também poderá ser considerada apta ao uso no solo segundo os parâmetros analisados. Portanto, os compostos gerados neste estudo são considerados viáveis, pois a partir das práticas realizadas em curto período de tempo obteve-se um composto húmico de capacidade altamente nutritiva para fins agrícola, o que é condizente aos conceitos sustentáveis de reciclagem de resíduos que assim como o composto produzido pela TERA Ambiental Ltda, devolve seus nutrientes ao meio através de um ciclo ambiental funcional, proporcionando a este uma nova função que beneficiará outras atividades viáveis.

## REFERÊNCIAS

BITTENCOURT, S; SERRAT, M. B. AISSE, M. M.; MARIN, S. K. M. L.; SIMÃO, C. C. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado**. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná (UFPR). Revista: Engenharia Sanitária Ambiental, v.17 n.3, jul/set 2012, p. 315-324. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522012000300008>

BRINGHENTI, R. J.; BOSCOV, G. M. E.; PIVELI P. R.; GÜNTHER, R. M. W. **Codisposição de lodos de tratamento de esgotos em aterros sanitários brasileiros: aspectos técnicos e critérios mínimos de aplicação**. Vitória, ES: Instituto Federal do Espírito Santo. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v.23, n.5, set/out 2018, p. 891-899. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018124980>

CHIBA, M. K. **Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura**. Piracicaba, SP, Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. <https://doi.org/10.11606/T.11.2006.tde-15032006-142618>

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução n.º 430, de 13 de maio de 2011. Brasília: DOU N.º 92, EM 16/05/2011.

Instituto Agrônômico de Pernambuco, **Minhocultura**. Pernambuco, Disponível em:<<http://www.ipa.br/resp46.php>>. Acesso em: 27/11/2019.

INSTITUTE FOR SOLID WASTES OF AMERICAN PUBLICS WORKS ASSOCIATION. **Municipal refuse disposal public administration service**. 3 ed. Illinois, p.293-329, 1970.

LANDGRAF, M.D.; MESSIAS, R.A.; REZENDE, M.O.O. **A Importância ambiental da vermicompostagem: vantagem e aplicação**. São Carlos: Rima, 2005. 105p.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 3ª edição. Piracicaba. 2002.

KIEHL, E.J. **Manual da Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 4ª edição. Piracicaba, 173p. 2004.

MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Fertilizantes, Inoculantes e Corretivos. Publicado em 13 jan. 2017, última modificação 10 out. 2019.

MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativo número SDA 25, de 23 de Julho de 2009. Publicado em: Diário Oficial da União – Seção 1 ISSN 1677-7042 N.º 173, quinta-feira, 28 de jun. de 2009.

MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativo número N.º61, de 8 de julho de 2020. Publicado em: Diário Oficial da União –15/07/2020 | Edição: 134 | Seção: 1 | Página: 5.

MAPA - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução normativa N.º 7, de 12 de abril de 2016. Publicado em: Diário Oficial da União –02/05/2016 | Edição: 82 | Seção: 1 | Página: 9.

MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. 2008. 204 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

METCALF & EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5ª edição, 2013;

OLIVEIRA, E. C. A. de; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Piracicaba, 2008. 19p. Disciplina: Matéria Orgânica do Solo (LSO-897). Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

PROSAB - **Programa de Pesquisa em saneamento Básico:Manual prático para compostagem de biossólidos**. Londrina, PR: Universidade Estadual de Londrina. ABES, 1999. 91p. Disponível em: [http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro\\_Compostagem.pdf](http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf). Acesso em: 20/01/2021.

SILVA, F. C.; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C.; BALLESTERO, S. D., 2002. **Recomendações Técnicas para o Uso Agrícola do Composto de Lixo Urbano no Estado de São Paulo**. Embrapa - Circular Técnica 3, pp. 1-17. <https://doi.org/www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/8691>

SOUZA, Q. M.D.; KAWATOKO, S. E. I. **Elaboração de propostas para o Tratamento do lodo gerado em uma Indústria de Reciclagem de Papel**. Presidente Prudente, São Paulo. (Trabalho de Graduação), Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2009. <https://doi.org/10.4013/ete.2010.62.02>

von SPERLING, M. **Lodo de esgotos**. Belo Horizonte: DESA-UFMG. 2001.

von SPERLING, M. **Tratamento e disposição final do lodo: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos 2005**. ed.: UFMG 2005.

TSUTIYA, M.T., COMPARINI, J.B., ALÉM SOBRINHO, P., HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T. **Biossólidos na agricultura**. 2ª Ed – São Paulo: ABES/SP, 2002.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM, B. de S. Jr.; CABRERA, B. R.; MORAES, P de O. e LOPES, D. C. N. **Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos**. Archivos de Zootecnia. v.58. p.60-76, 2009.



# **Engenharia Moderna:** Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



# **Engenharia Moderna:** Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria 3

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)